



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 18 194.6

**Anmeldetag:** 22. April 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Röntgenröhre mit Flüssigmetall-Gleitlager

**IPC:** H 01 J 35/10

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. März 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**Stanschus**

## Beschreibung

## Röntgenröhre mit Flüssigmetall-Gleitlager

5 Die Erfindung bezieht sich auf eine Röntgenröhre mit einer  
feststehenden Kathode und einer in einem Vakuumgehäuse ange-  
ordneten, auf einer gehäusefesten Achse drehbar gelagerten  
Drehanode, wobei die Drehanode als Hohlkörper ausgebildet  
10 greift.

15 Röntgenstrahlung wird herkömmlicherweise durch Beschuss einer  
Anode mit einem von einer Kathode ausgehenden Elektronen-  
strahl erzeugt. Die Kathode und die Anode sind hierbei in  
einem Vakuumgehäuse angeordnet. Üblicherweise ist eine Rönt-  
genröhre heutzutage mit einer Drehanode ausgestattet, welche  
sich unter dem auftreffenden Elektronenstrahl wegdreht, um  
einen bezüglich der Anode stationären Brennfleck zu vermei-  
den. Der Brennfleck, d.h. der Punkt, an dem der Elektronen-  
20 strahl auf der Anodenoberfläche auftrifft, verschiebt sich  
aus Sicht eines mit der Drehanode rotierenden Koordinaten-  
systems entlang einer kreisförmigen Bahn über die Anodenober-  
fläche. Hierdurch wird die beim Auftreffen des Elektronen-  
strahls erzeugte Verlustwärme vergleichsweise gleichmäßig auf  
25 die Anodenoberfläche verteilt, wodurch einer möglichen  
Materialüberhitzung im Brennfleck entgegengewirkt ist.

Es sind einerseits hohe Anforderungen an die Lagerung einer  
solchen Drehanode zu richten, zumal diese häufig mit hohen  
30 Umlaufgeschwindigkeiten und Beschleunigungsraten betrieben  
wird und dementsprechend hohe Querschleunigungen auftreten  
können. Andererseits ist eine möglichst gute Wärmeableitung  
aus der Drehanode sicherzustellen, um eine Überhitzung der  
Röntgenröhre zu vermeiden.

35

Eine Röntgenröhre der eingangs genannten Art ist aus der  
EP 0 328 951 A1 bekannt. Bei der bekannten Röntgenröhre ist

die Drehanode auf einer diese vollständig durchsetzenden gehäusefesten Achse drehbar gelagert. Die Lagerung erfolgt hierbei durch in Axialrichtung beidseitig der Drehanode angeordnete Wälzlager. Für eine gute Wärmeabfuhr ist die Drehanode als Hohlkörper ausgeführt, in deren Innenraum ein achsfester, kühlmitteldurchflossener Wärmeabsorptionskörper eingreift. Die Drehanode und der Wärmeabsorptionskörper sind hierbei durch einen dünnen Spalt getrennt, über welchen Wärme von der Drehanode auf den Wärmeabsorptionskörper abgestrahlt wird.

Es ist weiterhin, beispielsweise aus der DE 195 23 162 A1, bekannt, zur Lagerung der Drehanode einer Röntgenröhre ein Flüssigmetall-Gleitlager einzusetzen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine gattungsgemäße Röntgenröhre mit einfachen Mitteln insbesondere in Hinblick auf eine gute Wärmeableitung zu verbessern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Danach ist eine als Hohlkörper ausgebildete Drehanode vorgesehen, in deren Innenraum ein achsfester Ringvorsprung eingreift. Zwischen der dem Innenraum zugewandten Innenfläche der Drehanode und der angrenzenden Außenfläche des Ringvorsprungs ist hierbei ein mit Flüssigmetall gefüllter Spalt gebildet.

Der Flüssigmetallfilm im Spalt bewirkt hierbei eine besonders gute Wärmeüberleitung von der Drehanode auf den Ringvorsprung. Hierzu trägt die vergleichsweise große Fläche der Lagerflächen und die gute Durchmischung des Flüssigmetallfilms bei der Rotation der Drehanode bei. Weiterhin dient der Flüssigmetallfilm im Spalt zur einfachen und besonders wirksamen elektrischen Kontaktierung der Drehanode über die beispielsweise auf Erdpotential gelegte Achse.

Bevorzugt ist der Spalt zwischen der Drehanode und dem Ringvorsprung hinsichtlich der Spaltbreite und der Oberflächenbeschaffenheit der den Spalt eingrenzenden Wände derart beschaffen, dass die Drehanode und der in diese eingreifende Ringvorsprung zusammen mit dem in dem Spalt aufgenommenen Flüssigmetall ein hocheffektives Flüssigmetall-Gleitlager bilden. Der Spalt ist somit als Lagerspalt ausgebildet.

Aufgrund der durch die erfindungsgemäße Anordnung des Ringvorsprungs in der Drehanode erzielten, vergleichsweise großen aneinander angrenzenden Lagerflächen werden sowohl Radialkräfte als auch Axialkräfte in hervorragender Weise aufgenommen und eine besonders reibungsarme Lagerung der Drehanode gewährleistet.

In einer bevorzugten, konstruktiv einfachen Ausführungsform weist die Drehanode eine ringartige Form mit einem im Wesentlichen U-förmigen, zur Achse hin geöffneten Ringquerschnitt auf. Die Drehanode ist hierbei insbesondere vergleichsweise dünnwandig ausgeführt und besitzt somit ein vergleichsweise kleines Rotationsträgheitsmoment, das eine kurze Anlaufzeit ermöglicht. Eine Außenkante des etwa U-förmigen Querschnitts ist hierbei in herkömmlicher Weise zur Bildung einer Zielfläche für den Elektronenstrahl abgeschrägt. Die Zielfläche der Drehanode bildet somit einen sich in Axialrichtung konisch verjüngenden Bereich aus. Die Achse durchsetzt die Drehanode bevorzugt vollständig. Dies erlaubt eine stabile beidseitige Halterung der Achse am Vakuumgehäuse und eine besonders gute Lagerung der Drehanode sowie eine einfache Installation eines Kühlmittelkreislaufes innerhalb der Achse.

Hierzu sind die Achse und der Ringvorsprung bevorzugt von einem Kühlmittelkanal durchzogen, der zumindest im Bereich des Ringvorsprungs zur Sicherstellung einer guten Wärmeableitung zweckmäßigerweise dicht unter der Außenfläche geführt und vorteilhafterweise in mehrere Teilkanäle verzweigt ist. Für eine besonders gute Wärmeabfuhr ist der Ringvorsprung

vorteilhafterweise aus einem gut wärmeleitfähigen Material gebildet.

Vorzugsweise ist an der Drehanode eine metallische Hülse be-  
5 festigt, die in axialer Richtung von der Drehanode absteht  
und die Achse konzentrisch umgibt. Die Hülse dient hierbei  
zum einen einer verbesserten Radiallagerung der Drehanode,  
indem der Spalt aus der Drehanode in den Bereich der Hülse  
hinein verlängert ist. Zum anderen wird die Hülse bevorzugt  
10 als Rotor eines Elektromotors herangezogen, dessen Magnet-  
spule außerhalb des Vakuumgehäuses angeordnet ist. Auf diese  
Weise ist ein konstruktiv besonders einfacher Drehantrieb für  
die Drehanode realisiert, der insbesondere eine berührungs-  
freie Kraftübertragung durch das Vakuumgehäuse hindurch  
15 ermöglicht.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbeson-  
dere darin, dass die Drehanode etwa mittig, d.h. insbesondere  
schwerpunktsnah, gelagert ist. Hierdurch können bei einer  
20 einfachen und kompakten Bauweise hohe Fliehkräfte aufgefangen  
werden, ohne dass zusätzliche, extern der Drehanode angeord-  
nete Lager erforderlich wären. Es können jedoch optional zu-  
sätzliche Lager, z.B. Wälzlager, vorgesehen sein.

25 Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand  
einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigt die einzige Fi-  
gur in einem schematischen Schnitt eine Röntgenröhre mit  
einer in einem Vakuumgehäuse auf einer gehäusefesten Achse  
drehbar gelagerten Drehanode.

30 Die Röntgenröhre umfasst eine feststehende Kathode 1 sowie  
eine Drehanode 2. Die Drehanode 2 ist in einem feststehenden  
Vakuumgehäuse 3 angeordnet. Die Kathode 1 ist in einem Iso-  
latorgehäuse 4 angeordnet, welches mittels eines Metallrings  
35 5 vakuumdicht an das Vakuumgehäuse 3 angeschlossen ist. Das  
Vakuumgehäuse 3 ist seinerseits in einem Schutzgehäuse 6

aufgenommen, das mit einer elektrisch isolierenden Flüssigkeit F, z.B. Isolieröl, gefüllt ist.

Das Vakuumgehäuse 3 ist vollständig durchsetzt von einer  
5 gehäusefesten Achse 7, auf welcher die Drehanode 2 drehbar  
gelagert ist. Die Achse 7 ist an beiden Enden vakuumdicht von  
der Wand des Vakuumgehäuses 3 umschlossen.

Die Drehanode 2 ist rotationssymmetrisch bezüglich der Ach-  
10 se 7 ausgebildet. Sie umfasst ein wannen- oder schalenartiges  
erstes Teil, das nachfolgend als Wanne 8 bezeichnet ist. Die  
Wanne 8 ist öffnungsseitig von einem flachen, radial ausge-  
richteten zweiten Teil abgeschlossen, das nachfolgend als  
Deckel 9 bezeichnet ist. Die Wanne 8 wiederum umfasst einen  
15 radial ausgerichteten Boden 10, eine bezüglich der Achse 7  
konzentrische, im Wesentlichen hohlzylindrische Seitenwand 11  
sowie einen zwischen dem Boden 10 und der Seitenwand 11 ange-  
ordneten Übergangsbereich 12, der etwa in einem Winkel von  
45° bezüglich des Bodens 10 und der Seitenwand 11 abgeschrägt  
20 ist. Der Übergangsbereich 12 weist somit etwa die Form eines  
bezüglich der Achse 7 koaxialen Kegelstumpfes auf, der sich  
zum Boden 10 hin konisch verjüngt. Der Übergangsbereich 12  
ist hierbei außenseitig mit einer Schicht 13 aus einer Wolf-  
fram-Rhenium-Legierung versehen, die als Zielfläche für einen  
25 Röntgenstrahlung R erzeugenden Elektronenstrahl S vorgesehen  
ist. Beide Teile der Drehanode 2, d.h. die Wanne 8 und der  
Deckel 9, sind jeweils mit einer zentralen Bohrung 14 ver-  
sehen, welche die Achse 7 mit geringem Spiel durchsetzt. Die  
Wanne 8 und der Deckel 9 sind bevorzugt durch schematisch  
30 dargestellte Schrauben 15 miteinander verschraubt. Alternativ  
können die Wanne 8 und der Deckel 9 auch verschweißt oder  
verlötet sein. Die Drehanode 2 ist somit als ringartiger  
Hohlkörper mit einem etwa U-förmigen Ringquerschnitt ausge-  
bildet, der zur Achse 7 hin geöffnet ist.

35

In dem von der Drehanode 2 umschlossenen Innenraum 16 liegt  
ein mit der Achse 7 fest verbundener, rotationssymmetrischer

Ringvorsprung 17 ein, wobei der Ringvorsprung 17 den Innenraum 16 fast vollständig ausfüllt, und zwischen dem Ringvorsprung 17 und der Drehanode 2 lediglich ein schmaler Spalt 18 gebildet ist, der einerseits von der Mantelfläche oder Außenfläche 19 des Ringvorsprungs 17 und andererseits von der Innenfläche 20 der Drehanode 2 begrenzt wird. Der Spalt 18 ist hierbei zur Bildung eines Gleitlagers mit einem Flüssigmetall M, insbesondere Gallium oder einer Gallium-Legierung, ausgefüllt.

Die Drehanode 2 ist an ihren axialen Enden, d.h. an dem Boden 10 und dem Deckel 9, mit jeweils einer Hülse 21 bzw. 22 verbunden, insbesondere verschweißt oder verlötet. Die Hülsen 21 und 22 umgeben jeweils in axialer Verlängerung der Drehanode 2 die Achse 7 konzentrisch und mit geringem Spiel. Der mit Flüssigmetall M gefüllte Spalt 18 wird hierdurch in den Bereich der Hülsen 21 und 22 verlängert und ist hier durch das Spiel zwischen der jeweiligen Hülse 21,22 und der Achse 7 gegeben.

Ein Auslaufen des Flüssigmetalls M aus dem Spalt 18 wird hierbei nach herkömmlicher, z.B. in der DE 195 23 162 A1 beschriebener Technik dadurch verhindert, dass die axialen Randbereiche des Spalts 18, beispielsweise durch Beschichtung mit Titanoxid ( $\text{TiO}_2$ ), anti-benetzend für das Flüssigmetall M ausgeführt sind. Der zentrale Bereich des Spalts 18 ist hingegen vorzugsweise, beispielsweise durch Beschichtung mit Molybdän, benetzend ausgeführt.

Jede Hülse 21,22 trägt ein optional vorgesehenes zusätzliches Wälzlager 23. Je nach der Beschaffenheit des Spalts 18 trägt dieser mehr oder weniger stark zur Lagerung der Drehanode 2 bei. In der bevorzugten Ausführung sind die Wälzlager 23 allenfalls als Hilfslager zur Verbesserung der Lagerung vorgesehen und können bedarfsweise zur konstruktiven Vereinfachung der Röntgenröhre auch weggelassen sein. Die Lagerung der Drehanode 2 erfolgt in letzterem Fall allein über den mit

Flüssigmetall M gefüllten Spalt 18, der an sich bereits eine effektive Lagerung gewährleistet. Alternativ kann die Lagerung jedoch auch vorrangig über die Wälzlager 23 erfolgen. Die Hauptfunktion des flüssigmetallgefüllten Spalts 18 besteht in diesem Fall in der Wärmeableitung und der Kontaktierung der Drehanode 2.

Die Hülse 22 dient gleichzeitig zum Drehantrieb der Drehanode 2, indem sie als Rotor mit einem außerhalb des Vakuumgehäuses 3 angeordneten Stators 24 zur Bildung eines Elektromotors zusammenwirkt. Zur Herstellung oder Verbesserung der für einen Rotor erforderlichen elektrischen Eigenschaften ist optional ein geeigneter Rotorbelag 25, z.B. Kupfer, umfänglich auf der Hülse 22 aufgebracht.

Zur Erzeugung der Röntgenstrahlung R wird zwischen der Kathode 1 und der Anode 2 eine Hochspannung angelegt. Die Hochspannung wird von einer in einer schematisch dargestellten Generatoreinrichtung 26 enthaltenen Hochspannungsquelle 27 zur Verfügung gestellt. Die Kontaktierung der Drehanode 2 erfolgt hierbei über das auf Erdpotential E gelegte Vakuumgehäuse 3, die damit leitend verbundene Achse 7 und den Flüssigmetallfilm im Spalt 18. Die Generatoreinrichtung 26 enthält weiterhin eine Heizspannungsquelle 28, welche zur Erzeugung einer Heizspannung an die Kathode 1 angeschlossen ist. Die im Betrieb der Röntgenröhre durch Anlegen der Heizspannung beheizte Kathode 1 emittiert Elektronen, die durch Wirkung der Hochspannung unter Bildung des Elektronenstrahls S in Richtung der Drehanode 2, d.h. insbesondere senkrecht zur Achse 7, beschleunigt werden und dort im Bereich der schräg zur Strahlrichtung gestellten Schicht 13 auftreffen. Die hierbei erzeugte, schematisch anhand eines in Axialrichtung gerichteten Strahls dargestellte Röntgenstrahlung R verlässt das Vakuumgehäuse 3 und das Schutzgehäuse 6 durch axial fluchtend im Strahlengang positionierte, für Röntgenstrahlung R durchlässige Strahlungsfenster 29 und 30 des Vakuumgehäuses 3 bzw. des Schutzgehäuses 6. Abseits des Strah-



lungsfensters 30 ist das Schutzgehäuse 6 mit einem Strahlungsschutzmaterial, z.B. Blei, zur Abschwächung unerwünschter Streustrahlung versehen.

5 Die Drehanode 2 ist im Betrieb der Röntgenröhre mittels des durch die Hülse 22 und den Stator 24 gebildeten Elektromotors drehangetrieben, wodurch die Schicht 13 bezüglich des auf-  
10 treffenden Elektronenstrahls S rotiert, und die durch den Elektronenbeschuss erzeugte Verlustwärme ringförmig auf den Umfang der Drehanode 2 verteilt wird. Der Elektromotor ist von einer Spannungsquelle 31 der Generatoreinrichtung 26 spannungsversorgt.

Die in der Drehanode 2 anfallende Verlustwärme wird über den  
15 Flüssigmetallfilm im Spalt 18 sehr effektiv auf den Ringvorsprung 17 übertragen, der hierzu aus einem gut wärmeleitenden Material hergestellt ist. Zur Ableitung der Verlustwärme aus dem Vakuumgehäuse 3 verläuft innerhalb der Achse 7 und des Ringvorsprungs 17 ein Kühlmittelkanal 32, der  
20 mit einem Kühlmittel beschickbar ist. Als Kühlmittel wird hierbei die Flüssigkeit F herangezogen. Der Kühlmittelkanal 32 verzweigt sich im Bereich des Ringvorsprungs 17 in mehrere Teilkanäle, von denen in der Figur zwei, nämlich die Teilkanäle 32a und 32b sichtbar sind. Diese sind nahe an der  
25 Außenfläche 19 des Ringvorsprungs 17 entlang geführt, um eine wirksame Wärmeabfuhr zu gewährleisten. Der koaxiale Verlauf des Kühlmittelkanals 32 ist innerhalb des Ringvorsprungs 17 unterbrochen, so dass eine Durchströmung der Teilkanäle 32a, 32b erzwungen ist.

30

Wie aus der Figur anhand der die Strömungsrichtung im Kühlmittelkanal 19 angebenen Pfeile erkennbar ist, weist ein Ende der Achse 7 eine Einströmöffnung 33 des Kühlmittelkanals 32 auf, während sich eine Ausströmöffnung 34 an dem entgegengesetzten Ende der Achse 7 befindet. Die Achse 7 ist hierfür  
35 derart aus dem Vakuumgehäuse 3 herausgeführt, dass die Einströmöffnung 33 und die Ausströmöffnung 34 zum Innenraum des

Schutzgehäuses 6 hin geöffnet sind. Der Kühlmittelkanal 32 steht somit in fluidischer Verbindung mit dem flüssigkeitsgefüllten Schutzgehäuse 6.

5 Der zur Kühlung erforderliche Flüssigkeitsstrom wird mittels einer schematisch angedeuteten Pumpe 35 erzeugt, die in eine schematisch angedeutete Kühlmittelleitung 36 geschaltet ist. Die Kühlmittelleitung 36 beginnt innerhalb des Schutzgehäuses 6 nahe der Ausströmöffnung 34 und endet in einem mit dem  
10 Schutzgehäuse 6 verbundenen und in die Einströmöffnung 33 des Kühlmittelkanals 32 ragenden Rohrstutzen 37. Die als Kühlmittel verwendete Flüssigkeit F wird somit von der Pumpe 35 angesaugt, durchläuft einen in die Kühlmittelleitung 36 geschalteten Kühler 38 und wird durch den Rohrstutzen 37 dem  
15 Kühlmittelkanal 32 zugeführt. Infolge der losen, insbesondere nicht fluidisch abgedichteten Verbindung zwischen der Kühlmittelleitung 36 und dem Kühlmittelkanal 32 findet hierbei eine partielle Vermischung der in der Kühlmittelleitung 36 und dem Kühlmittelkanal 32 umlaufenden Flüssigkeit F und der  
20 im Schutzgehäuse 6 ruhenden Flüssigkeit F statt, wodurch ein allmählicher Flüssigkeitsaustausch zwischen dem Schutzgehäuse 6 und dem Kühlmittelkanal 32 gewährleistet ist.

25 Sofern ein Kühler nicht erforderlich ist, kann alternativ der Kühlmittelkreislauf auch in nicht explizit dargestellter Weise innerhalb des Schutzgehäuses 6 erfolgen. Es ist dann eine Pumpe im Innenraum des Schutzgehäuses 6 vorgesehen, die zur Erzeugung eines Flüssigkeitsstroms die in dem Schutzgehäuse 6 befindliche Flüssigkeit der Einströmöffnung 33 des  
30 Kühlmittelkanals 32 zuführt.

## Patentansprüche

1. Röntgenröhre mit einer feststehenden Kathode (1) und einer  
in einem Vakuumgehäuse (3) angeordneten, auf einer gehäuse-  
festen Achse (7) drehbar gelagerten Drehanode (2), wobei die  
Drehanode (2) als Hohlkörper ausgebildet ist, in dessen  
Innenraum (16) ein achsfester Ringvorsprung (17) eingreift,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
zumindest zwischen einer Innenfläche (20) der Drehanode (2)  
und der angrenzenden Außenfläche (19) des Ringvorsprungs (17)  
ein mit Flüssigmetall (M) gefüllter Spalt (18) gebildet ist.

2. Röntgenröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Spalt (18) als  
Lagerspalt eines Flüssigmetall-Gleitlagers ausgebildet ist.

3. Röntgenröhre nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Drehanode (2) eine  
ringartige Form mit einem im wesentlichen U-förmigen, zur  
Achse (7) hin geöffneten Querschnitt aufweist.

4. Röntgenröhre nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Achse  
(7) die Drehanode (2) vollständig durchsetzt.

5. Röntgenröhre nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Achse  
(7) und der Ringvorsprung (17) von einem Kühlmittelkanal (32,  
32a, 32b) durchzogen sind.

6. Röntgenröhre nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Kühlmittelkanal (32,  
32a, 32b) zumindest im Bereich des Ringvorsprungs (17) dicht  
an der Außenfläche (19) geführt ist.

7. Röntgenröhre nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Kühlmittelkanal (32,

32a, 32b) im Bereich des Ringvorsprungs (17) in mehrere Teilkanäle (32a, 32b) verzweigt ist.

5 8. Röntgenröhre nach einem der Ansprüche 1 bis 7, g e -  
k e n n z e i c h n e t d u r c h zumindest eine axial  
von der Drehanode (2) abstehende Hülse (21, 22), welche die  
Achse (7) konzentrisch umgibt.

10 9. Röntgenröhre nach Anspruch 8, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass eine Hülse (22) in Zusam-  
menwirkung mit einem außerhalb des Vakuumgehäuses (3) ange-  
ordneten Stator (24) den Rotor eines zum Antrieb der Dreh-  
anode (2) dienenden Elektromotors bildet.

## Zusammenfassung

## Röntgenröhre mit Flüssigmetall-Gleitlager

- 5 Um bei einer Röntgenröhre mit einer feststehenden Kathode (1) und einer in einem Vakuumgehäuse (3) angeordneten, auf einer gehäusefesten Achse (7) drehbar gelagerten Drehanode (2) insbesondere eine effektive Wärmeableitung zu erzielen, ist die Drehanode (2) als Hohlkörper ausgebildet, in dessen
- 10 Innenraum (16) ein achsfester Ringvorsprung (17) eingreift, so dass zumindest zwischen einer Innenfläche (20) der Drehanode (2) und der angrenzenden Außenfläche (19) des Ringvorsprungs (17) ein mit Flüssigmetall (M) gefüllter Spalt (18) gebildet ist.

15

Figur

